

# Geo-Information System for Underground Construction using Spatiotemporal Actors Model

その他（別言語等）のタイトル	時空間アクターズ・モデル(STAM)を用いた地下空間開発のための地理情報システムに関する研究
著者	徐 招峰
学位名	博士（工学）
学位の種別	課程博士
報告番号	甲第378号
研究科・専攻	建設工学専攻
学位授与年月日	2016-03-23
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/00008923">http://hdl.handle.net/10258/00008923</a>

氏 名	徐 招峰
学位論文題目	Geo-Information System for Underground Construction using Spatiotemporal Actors Model (時空間アクターズ・モデル(STAM)を用いた地下空間開発のための地理情報システムに関する研究)
論文審査委員	主 査 教授 板 倉 賢 一 教授 土 屋 勉 教授 永 野 宏 治

## 論文内容の要旨

近年，地下開発に関わる地球科学・工学の分野では，高速かつ高精度な空間情報計測機器の利用が広がりつつあり，短時間に膨大なデータが記録，蓄積される。いわゆる「ビッグデータ」と称される，この膨大なデータを有効に活用するためには，解決すべき以下の二つの問題点がある。

一つは，データの時空間座標参照系とデータの意味を定義するセマンティック情報が混乱・欠損する状況が多発する点である。地下構造物の開発や研究のライフサイクルは長期にわたるため，状況はさらに深刻化する。

二つ目は，データ量が膨大で，現状の地理情報システムでは効率よく対応できない点である。

上述の問題を解決するのが，本研究の目的である。具体的には，1) 複雑な時空間データを扱える時空間アクターズ・モデル(STAM: Spatiotemporal Actors Model)を用いたデータ・モデルに関する新たな理論とモデルの開発，2) PC クラスタを用いて，膨大なデータに対処可能な並列分散システムの開発である。

本論文は10章から成り，内容的に大きく三つの部分から構成される。第一部分では，時空間データやモデリング理論に関する基礎概念について述べている。すなわち，新たな時空間アクターズ概念を導出し，フォーマル理論をもとに「現実世界—情報システム世界—認知モデル世界」の関連を示す共に，進化的な時空間モデリング概念のフレームワークを論述している。第二部分は，先ず空間参照系，時間参照系，認知参照系，計測単位参照系からなる時空間参照系を提示する。これによって，参照情報の混乱が解消できる。次に STAM の具体的な仕組みや，データ保存，時空間情報可視化手法等を示した。第三部分は，提案する時空間モデルと構築した並列分散プロトタイプシステムの検証について述べている。廉価なハードウェア・

パーツとフリーなオープンソース・ソフトウェアを使って、並列分散処理システムを構築した。このシステムに、東濃地球科学センター（JAEA）の超深地層研究プロジェクトのデータと、栗子トンネル建設プロジェクトの地下開発現場のデータを読み込み、システムと手法の有効性を検証した。また、計算ノードの増加に対するシステムの優位性については、LINPACK ベンチマークテストを行い、指標の向上とデータ処理時間の短縮により確認した。

本研究では、複雑な時空間データを扱える新たな STAM 理論を提案し、その理論に基づくプロトタイプ並列分散処理システムを構築した。それらを実際の地下空間開発プロジェクトに適用し、従来の問題点の解決を図った。すなわち、膨大で多様な時空間データを効率よく、高速かつ安全に記録、管理、閲覧可能であることを検証した。今後、これらの成果は、ライフサイクル・マネジメントのためにビッグデータを扱う、様々な地下空間開発現場に適用可能と考える。

## ABSTRACT

With the widespread use of high-speed and high-resolution data acquisition devices in the fields of underground construction, geotechnical engineering, and geoscience, enormous amounts of data have been collected in a short time. The volume of accumulated data is expected to increase continually with elapsed time. Therefore, it is difficult to address such “big data” for geologists or geotechnical engineers. Difficulties related to underground construction can be detailed described below.

1) Confusion and loss of data coordinate reference systems and semantic information occur frequently. Particularly for long-span lifecycle geotechnical project, it becomes more severe for data management.

2) Conventional geo-information cannot deal efficiently with large volumes of data.

To resolve the problems described above, this study was conducted to 1) create a novel methodology for modeling complex spatiotemporal data using Spatiotemporal Actors Model (STAM), 2) develop a method for building parallel and distributed information system, which can handle large volumes of spatiotemporal data.

This paper, which includes 10 chapters, is divisible into three sections. In the first section, some fundamental concepts and formal theory are presented. A new concept of STAM is introduced. Based on analysis of the nature of modeling, category theory, actor model and ontology theory, a new concept of knowntology and an evolutionary framework for modeling spatiotemporal data

are proposed. The second section specifically examines reference systems and the proposed model. A unified spatiotemporal reference system, which comprises a spatial reference system, a temporal reference system, a measure reference system and knowntology reference system, is proposed. The unified reference system can protect data from semantic confusion. To embody the proposed theory and spatiotemporal model, the STAM structure and the mechanism for interaction, data storage, and visualization method are discussed. In the third part, to verify the proposed model, a prototype system was developed using several programming languages. The system was built from scratch with inexpensive hardware parts and free open source software. Data sets from Tono Geoscience Center (JAEA) project and Kuriko Tunnel were used for testing. The process time shortening and the system's LINPACK benchmark improvement were confirmed with the increased number of computing nodes.

Testing results confirmed the validity of the proposed model and the prototype system for both underground construction projects. The noticeable contribution of this research is STAM. The approach for constructing a parallel and distributed spatiotemporal information system and the proposed system is applicable to a variety of underground construction sites using big data for lifecycle management.

## 論文審査結果の要旨

道路、鉄道トンネルから高濃度放射性廃棄物の地層処分場に至るまで、地下空間開発分野では、計画、探査、設計、施工、管理運営、補修、埋め戻しの長期サイクル中で、多種多様で膨大な情報が発生する。これらの情報を、地下構造物のライフサイクルの中で有効かつ効率的に管理し、検索・閲覧やデータマイニング等に活用するシステムの開発が求められている。時間を取り入れた4次元地理情報システム（GIS）の研究も進められているが、地下構造物の長期ライフサイクル・マネジメントを考慮したものはない。そのため、様々な技術分野の技術者が異なる空間座標系、時間尺度、データ形式の情報を、それぞれの分野ごとにデータベース等に日々蓄えているのが現状で、有効な情報活用がなされているとはいえない。

本研究では、こうした多種多様で膨大な地下構造物の長期ライフサイクル・マネジメントに関わる情報を、コンピュータの並列分散処理システムを前提に管理する、時空間アクターズ・モデル（STAM: Spatiotemporal Actors Model）を提案している。

現実世界をコンピュータシステムとしての時空間 GIS の中に取り込むために、地物、時間、人間による認識の観点から三者の関係を探るところから始まり、最終的に STActor（時空間アクター）の属性としてそれらを組み込み、モデル化するという発想から、この提案は生まれた。STActor とは、現実世界を構成するすべてを必要な大きさに小分けし、上述の様々な属性や変化・変形、行動を記録したデータパッケージである。その中にはパッケージ間の関連や行動を表すメッセージも含んでいる。コンピュータプログラムは、必要な STActor や STActors（並列分散処理のために STActor をグループ化したもの）を呼びだして組み立て、クライアントのニーズに応える仕組みである。事例として取り上げた 2 箇所の地下空間開発現場を対象に、実際に並列分散処理システムを構築し、STAM を実装し、システム内に現場を構築して、データの検索、可視化表示等の動作を確認している。これにより、統一した地物の取扱、技術者間による情報理解の混乱解消、物理的各種空間座標系、各種時間スケール、単位系の統括が可能になった。

以上のように、本研究で得られた成果は、地下空間を対象とする資源開発工学や土木工学のみならず、地理情報処理学および情報工学の分野への発展に寄与するところが大であり、今後、地下構造物のライフサイクル・マネジメント・ツールとして活用が期待される。よって、本論文は博士論文に値すると判断された。